

## Monitoramento da fenologia de culturas através de Sensoriamento Remoto

Lena Maatoug<sup>1</sup>  
Margareth Simões<sup>1,3</sup>  
Agnès Bégué<sup>1</sup>  
Damien Arvor<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CIRAD - UMR TETIS

Maison de la Télédétection, 500 rue Jean-François Breton, 34093 Montpellier, France  
{lena.maatoug,agnes.begue}@teledetection.fr

<sup>2</sup> IRD - UMR 228 ESPACE-DEV

Maison de la Télédétection, 500 rue Jean-François Breton, 34093 Montpellier, France  
damien.arvor@ird.fr

<sup>3</sup> EMBRAPA LabEx and Rio de Janeiro State University PPGMA/DESC/UERJ  
Agropolis International, 1000 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier, France  
margareth.simoes@embrapa.br

**Abstract.** The monitoring of agriculture practices (e.g. sowing dates or double cropping systems) are considered a relevant research issue in Remote Sensing. The objective of this paper is to test the potential of MODIS satellite data to detect vegetation dynamics over agricultural land, focusing on the estimate of the sowing dates of soybean crops. First, the MODIS MCD12Q2 product, composed of phenology transition dates, was tested, although it had good results by the group in Africa (Mali), it turned out to be unusable due to a large number of missing data and inconsistencies in our study area, Mato Grosso (Brasil). An alternative method, based on the MOD13Q1 Enhanced Vegetation Indices (EVI) time series was developed. We applied a 3x3 window Savitzky-Golay filter to the EVI time series, and extracted the 2006-2007 growing period. We then calculated the dates at which different EVI values were reached (from 0.1 to 0.9, step 0.1), and correlated these dates to a set of sowing dates observed in the fields over the same period. Further studies based on this method can be used to come up with a sowing mapping for agriculture planning, monitoring the date of plantation, correlating it with yield and also be used as an input for crop modeling.

**Keywords:** MODIS, temporal time series, sowing date, agriculture monitoring, series temporais, data de semeadura, monitoramento agrícola, soja.

### 1. Introdução

O governo brasileiro, através de sua política agrícola, recomenda as datas de plantio de culturas de forma a minimizar perdas e subsidiar o crédito agrícola a partir do zoneamento de risco climático. No Mato Grosso as culturas dominantes são soja, milho e algodão e é importante entender as práticas culturais e o calendário agrícola, que é parcialmente determinado pelo regime de chuvas. Em algumas regiões a estação chuvosa se estende por um período de seis meses, de Setembro-Outubro à Maio, permitindo o desenvolvimento do sistema de duplo cultivo (Arvor et al, 2011), que normalmente combina a soja com o milho ou soja e algodão, onde primeiro se cultiva a soja (entre Setembro e meio de Novembro). A data de cultivo da soja é estabelecida a partir das primeiras precipitações e é caracterizada por uma grande variabilidade espaço-temporal, o que pode condicionar perdas de produtividade, neste sentido, é importante monitorar a data de plantio a fim de auxiliar no melhoramento da qualidade das recomendações dadas aos produtores. Ao detectar, através de dados de satélites, a data de início de crescimento da planta, pode-se estimar a data de plantio utilizada pelos agricultores, o que por sua vez pode ser relacionado com dados de produtividade das culturas. Observando estas relações ao longo de diversos anos e em diferentes regiões, poder-se-ia fornecer recomendações mais específicas dependendo da localização das parcelas.

Índices de Vegetação como Enhanced Vegetation Index (EVI) ou Normalized Vegetation Index (NDVI) têm sido testados (Huete et al., 2002) e considerados robustos para estimar a vegetação fotosinteticamente ativa. Apesar dos sensores remotos óticos apresentarem diversas vantagens para monitorar a fenologia da vegetação em grandes áreas (Curnel et al., 2006), em ambiente tropical, entretanto, o uso destes dados é um desafio devido a presença de nuvens e da grande variabilidade de *Aerosol Optical Thickness*. Dados do sensor MODIS são disponibilizados gratuitamente, diariamente e possuem resolução espacial média (250 m), oferecendo uma resolução espacial e temporal interessantes para estudar a dinâmica da vegetação e diminuir o impacto destes problemas (Ganguli et al., 2010). O objetivo deste artigo é testar o potencial dos dados MODIS para detectar a dinâmica da vegetação em áreas agrícolas do Mato Grosso e especificamente avaliar o uso destes dados na estimativa das datas de plantio de soja.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Dados

Foram utilizados dados coletados no campo entre 2006 e 2007 (Arvor, 2009), a fim de se comparar com os resultados da dinâmica da vegetação observada através do satélite. No total, 617 parcelas foram mapeadas para o ano agrícola 2005-2006 e 319 para o ano agrícola 2006-2007. Os seguintes atributos foram computados: identificação da parcela, nome do fazendeiro, nome do proprietário, área, tipo de cultura, data de plantio, data de colheita, produtividade.

O dado de satélite utilizado foi o produto MODIS MCD12Q2, que contém dados sobre as datas de transição fenológica (Ganguli et al., 2000). Para cada MODIS *tile*, existe um arquivo MCD12Q2 por ano com uma resolução espacial de 500 m. As datas de transição fenológica representadas nos arquivos correspondem à quatro índices fenológicos, conforme apresentado na figura 1: a) início do crescimento vegetativo (*SOS - Start of Season*), b) início do máximo crescimento vegetativo (*SMAX - Start of MAXimum greenness*), c) fim do máximo crescimento vegetativo (*EMAX - End of MAXimum greenness*) e d) fim do ciclo da vegetativo (*EOS - End Of Season*). Foi utilizado também o produto MCD43A4, distribuído a cada 8 dias e com uma resolução espacial de 500m. O MCD43A4 contém dados NBAR (*surface reflectance adjusted by the BRDF*) usado para determinar o índice fenológico MCD12Q2. Finalmente, foram utilizados os produtos MOD13Q1 e MYD13Q1 que fornecem dados de índice de vegetação NDVI e EVI com uma resolução temporal de 16 dias e uma resolução espacial de 250 m. Para cada pixel, o índice de vegetação foi calculado a partir de dados de reflectância após serem aplicadas correções atmosféricas e geométricas.

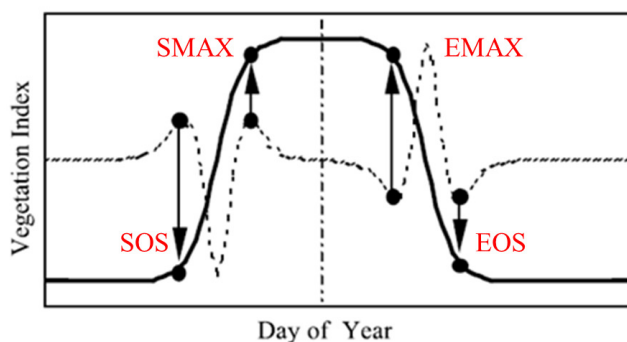


Figure 1. Representação esquemática das datas de transição calculadas a partir da segunda derivada da função logística (baseado em Zhang et al., 2003).

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade do dado de fenologia MODIS MCD12Q2, estimar as datas de plantio em áreas agrícolas do Mato Grosso e validar estes resultados através de dados de campo que dispomos nesta região. Nossa abordagem consistiu em três etapas: análise dos dados de campo em relação aos índices de fenologia derivados do MODIS e desenvolver uma técnica de detecção de data de plantio.

## **2.2. Análise dos índices fenológicos e comparação com dados de campo**

Para obter-se as séries temporais das parcelas agrícolas, foi criada uma máscara de pixel de interesse, escolheu-se definir como pixel de observação o centro de gravidade das parcelas, foi extraído o pixel do centro da parcela a fim de diminuir os efeitos das bordas.

Para avaliar a consistência dos índices fenológicos apresentados no produto MCD12Q2, foi realizada inicialmente uma avaliação visual qualitativa dos índices sobrepondo-as às séries temporais de EVI calculados a partir dos produtos de MCD43A4. Os índices fenológicos e os valores de EVI foram extraídos usando algoritmos desenvolvidos em IDL. A análise visual baseou-se numa observação gráfica, realizada a partir de um algoritmo desenvolvido em R, na qual houve uma superposição dos perfis temporais de EVI com os valores das datas de transição fenológica obtidas a partir dos dados MCD12Q2. Finalmente, foi estudada a correlação entre as variáveis fenológicas do início do crescimento vegetativo (SOS) com as datas de plantio.

## **2.3. Método alternativo para mapear datas de transição fenológica**

Foi obtido o perfil temporal EVI do produto MOD13Q1 (250 m), a partir da média dos 4 pixels contidos em cada pixel (500 m) que representa o centro de gravidade das parcelas. Em seguida, foi aplicado o filtro Savitzky-Golay para suavizar o perfil temporal (Savitzky e Golay, 1964) o que permitiu estimar a data do início do ciclo vegetativo em cada parcela. A metodologia escolhida baseia-se na detecção da data em que a curva suavizada do perfil temporal EVI atinge um valor limite, tendo sido testado para diferentes limiares: (i) aplicando-se um valor fixo de EVI (de 0,1 a 0,9 com passo de 0,1), ou (ii) um valor correspondente a uma fração do intervalo do EVI (de 0,1 a 0,9 com passo de 0,1). Em seguida, analisou-se a correlação entre as datas obtidas usando estes limiares e as datas de plantio observadas no campo.

## **3. Resultados**

### **3.1 Análise dos índices fenológicos do MCD12Q2**

Os valores dos índices fenológicos do produto MCD12Q2, foram sobrepostos nos perfis temporais de EVI, calculados a partir do produto NBAR MCD43A4,. Entretanto, este produto apresenta um grande número de dados ausentes (Figura 2). Consequentemente, os índices fornecidos pelo MCD12Q2 são também apresentados de forma incompleta. Por exemplo, em 1431 parcelas analisadas, apenas dois ciclos vegetativos foram representados completamente pelos quatro indicadores fenológicos: SOS, EOS, SMAX e EMAX.

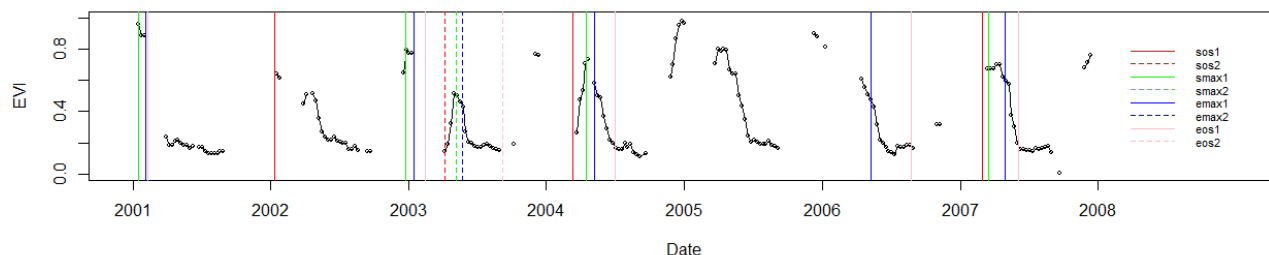


Figura 2. Perfis temporais EVI 2001-2007 (MCD43A4) e as datas de transição fenológica correspondentes (MCD12Q2).

Uma simples análise quantitativa do status de 8 índices fenológicos de dados de MCD12Q2 confirmou a incompletude dos dados. Anomalias no produto MCD12Q2, devido a lacunas de dados de índices de vegetação também foram observadas no conjunto de dados do Mali (Vintrou et al. 2012), mas numa proporção menor, tornando o produto utilizável após uma seleção de dados simples, que não é o caso no presente estudo.

### 3.2. Método alternative para o cálculo da data de plantio

Como os produtos MCD12Q2 e MCD43A4 não se mostraram satisfatórios para a área de estudo, analisou-se o uso do produto MOD13Q1 a fim de obter-se a estimativa das datas de plantio. Os perfis temporais de EVI de dados MOD13Q1 apresentaram resultados preliminares (antes da aplicação do filtro de suavização) que pareceram satisfatórios (Figura 4). Perfis temporais de EVI MOD13Q1 são mais completos do que os calculados a partir dos dados disponíveis do NBAR MCD43A4 (Figura 2). Ao se utilizar os perfis suavizados do EVI MOD13Q1, torna-se possível identificar de forma ainda mais clara a presença de dois ciclos vegetativos. Por outro lado, ao sobrepor-se a estes perfis os dados do MCD12Q2, observa-se que a qualidade destes dados (indicadores fenológicos) é bastante variável:

-alguns indicadores parecem coincidir com os perfis de EVI (por exemplo, ano 2003-parcela 1431;) (Figura 4);

-a maioria dos indicadores fenológicos é inconsistente sobre perfis de MOD13Q1, por exemplo, para (o primeiro ciclo vegetativo de 2001 na parcela 1396), ou do ano de 2007 para a parcela 1431; (Figura 4).

Para tirar proveito dos perfis EVI MOD13Q1 extraiu-se indicadores fenológicos através de um método simples, enfocando o estudo das datas de plantio da temporada 2005-2006 para o qual tinha-se um grande número de dados a explorar. Utilizou-se o perfil EVI do primeiro ciclo vegetativo extraindo-se valores entre setembro de 2005 e abril de 2006 (Figura 5) e calculou-se a correlação entre as datas de plantio observadas e as datas do perfil EVI obtidas por limiares de EVI (Figura 5). Testaram-se os valores de limiar relativo (da amplitude de EVI) e absoluto (de 0,1 a 0,9). Apenas os resultados obtidos com os valores de limiar absoluto são apresentados aqui, uma vez que apresentaram melhores resultados do que o relativo (melhor coeficiente de R: igual a 0,8 para valores absolutos contra 0,7 para valores relativos).

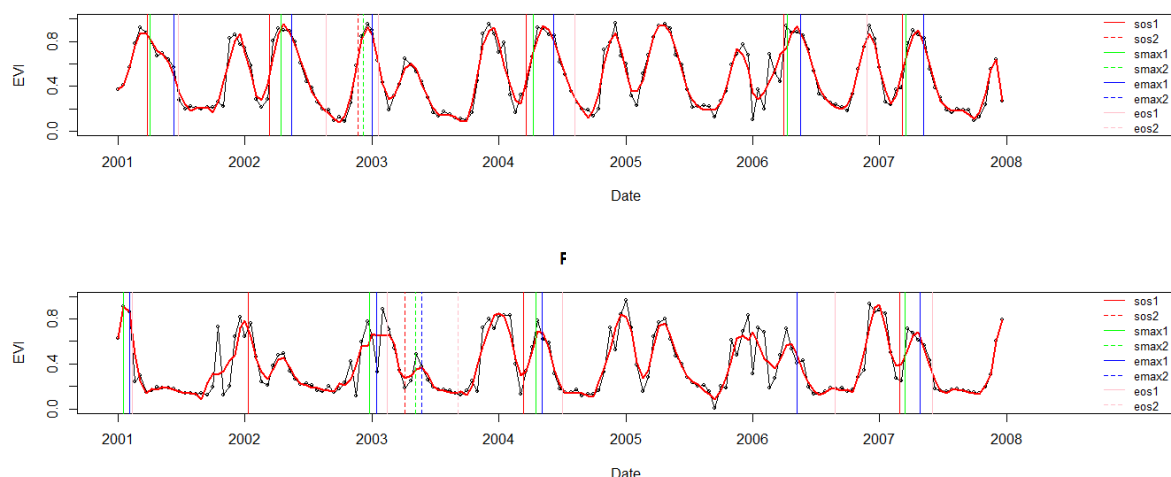


Figura 3. Exemplo de perfis EVI para o período 2001-2007, para duas parcelas. A linha preta representa os perfis temporais MOD13Q1 EVI, a linha vermelha é o perfil EVI após aplicar o filtro Savitzky-Golay (janela de 3 x 3) e as linhas verticais em cores correspondem às datas fenológicas MCD12Q2. A parcela 1396 (figura superior) e 1431 (figura inferior) correspondem as culturas "soja mais algodão" e "soja e milho" respectivamente.

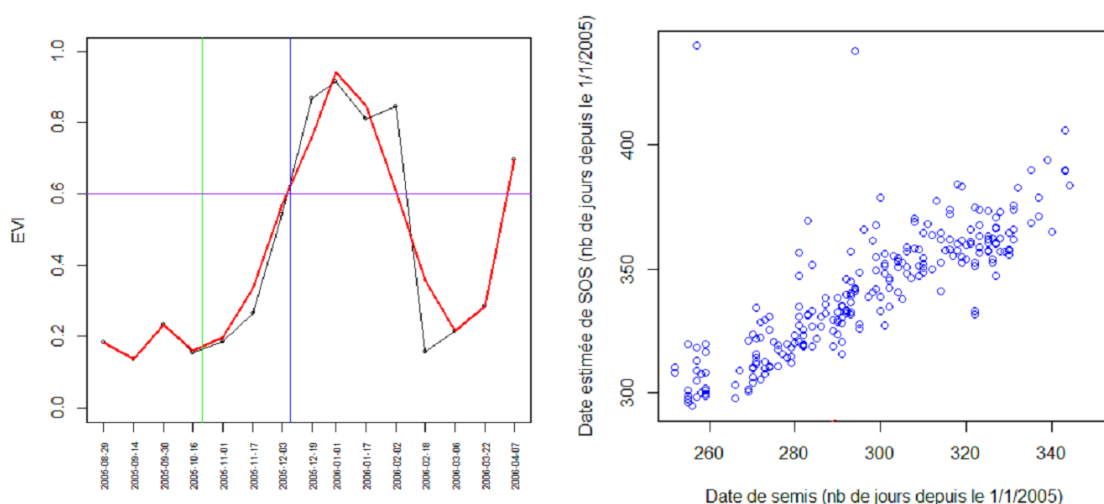


Figura 5. Data de cultivo calculada a partir de um limiar fixo de EVI igual a 0,6.

-Figura esquerda: perfil de EVI 2005-2006 para campo de 1434. A linha preta representa os perfis temporais MOD13Q1 EVI, a linha vermelha é o perfil EVI filtrado (Savitzky-Golay, janela de 3 x 3), a linha verde corresponde a data de plantio observada e a linha azul corresponde à data em que foi atingido o limiar EVI.

-Figura direita: relação entre as datas de plantio observadas no campo e as datas obtidas com limiar de 0,6 EVI para o conjunto de dados 2005-2006 (243 campos).

Figure 4. Example of sowing date data processing for a fixed EVI threshold of 0.6.

#### 4. Discussão e conclusão

A aquisição e utilização de dados de sensoriamento remoto estão sujeitos a restrições, especialmente em regiões tropicais com grande quantidade de nuvens. Dados MODIS, têm alto potencial para a análise da fenologia das regiões tropicais, uma vez que este sensor obtém uma cobertura global da terra a cada um ou dois dias, e disponibiliza dados de reflectância já corrigidos. Os dados MCD12Q2 representam um valioso potencial para as várias aplicações do estudo da fenologia de superfície em escalas regionais e globais. Contribuiria com

pesquisas em fenologia, poupando muito tempo e energia. Com efeito, observou-se que índices fenológicos extraídos a partir de dados de reflectância ou índices de vegetação requerem o processamento de um grande volume de dados, o desenvolvimento de uma metodologia rigorosa, adaptada à região e um importante trabalho de validação dos resultados, que implica na disponibilidade de dados de campo.

No entanto, foi visto que os dados MCD12Q2 ainda não estão operacionais no Mato Grosso, já que existe um grande número de pixels sem dados, e que os dados existentes não estão muitas vezes em acordo com os dados do campo. A principal limitação para a obtenção de dados úteis de MCD12Q2 encontra-se na disponibilidade dos dados NBAR utilizados para o cálculo destes indicadores fenológicos. É muito provável que a falta de dados de MCD43A4 seja devido à contaminação das aquisições por uma cobertura de nuvem demasiado grandes e frequentes.

O trabalho de validação de dados MCD12Q2 também deve ser perseguido, porém este é dependente da coleta de dados de campo. Isso é o que sugerem Gomes et al. (2010) em sua apresentação da coleção do produto MCD12Q2 5.

Seria interessante realizar uma comparação com outras áreas de estudo para determinar se os problemas que foram encontrados (falta de disponibilidade de dados, inconsistência em relação aos dados de campo) são específicos para o ambiente tropical. A versão atual do produto MODIS fenologia, parece mais confiável para estudar a fenologia de tropical superfície passando os dados intermédios, como os índices de vegetação.

Para as demais partes do trabalho que realizamos, as perspectivas de pesquisa incluem:

- análise de dados de MCD12Q2 em outras áreas de estudo;
- análise de robustez do valor-limite EVI 0,6 em anos diferentes;
- melhoria da metodologia para a estimativa de crescimento do ciclo vegetativo, especialmente usando funções de derivadas como uma forma de selecionar apenas o primeiro pico vegetação;
- adaptação de metodologia para determinar outras datas de transição da fenologia, que poderia se vincular a dados de campo, tais como rendimento.

## References

Arvor, D. **Etude par télédétection de la dynamique du soja et de l'impact des précipitations sur les productions au Mato Grosso (Brésil)**. 2009. Thèse de doctorat, Université Rennes 2.

Arvor, D.; Jonathan, M.; Meirelles, M.S.P.; Dubreuil, V.; Durieux, L. Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of mato grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 22, p. 7847-7871, 2011.

Curnel, Y.; Oger, R. Agrophenology indicators from remote sensing: state of the art. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, tome XXXVI-8/W48, Stresa (IT), p. 31-38, 2006.

Ganguly, S.; Friedl, M.A.; Tan, B.; Zhang, X.; Verma, M. Land surface phenology from MODIS : characterization of the collection 5 global land cover dynamics product, **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 8, p. 1805-1816, 2010.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, **Remote sensing of environment**, v. 83, n. 1, p. 195-213, 2002.

Savitzky, A.; Golay, M. J. E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627-1639, 1964.

Vintrou, E.; Bégué, A.; Baron, C.; Lo Seen, D.; Saad, A.; Traoré, S. Analysing MODIS phenometrics quality on cropped land in West Africa. In: *Sentinel-2 Preparatory Symposium*, Frascati (IT), 23-27 April 2012, 7 p., 2012.

Zhang, X.; Friedl, MA.; Schaaf, CB; Strahler, AH; Hodges, JCF; Gao, F; Reed, BC; Huete, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n.84, p. 471-475, 2003.